

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록실용신안공보(Y1)

(51) Int. Cl. <sup>6</sup> B25J 17/00	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2000년02월 15일 20-0168189 1999년11월08일
(21) 출원번호 (22) 출원일자 (62) 원출원	20-1999-0018405 1999년09월01일 특허 특1999-0031703	(65) 공개번호 (43) 공개일자 원출원일자 : 1999년08월02일 심사청구일자 1999년08월02일
(73) 실용신안권자 (72) 고안자 (74) 대리인	양창일 경기도 고양시 덕양구 행신동 783(18/3) 소만마을 701-1101 백운수 서울특별시 용산구 한남동 657-91(12/6) 양창일 경기도 고양시 덕양구 행신동 783(18/3) 소만마을 701-1101 백운수 서울특별시 용산구 한남동 657-91(12/6) 김중화	

심사관 : 박재욱

(54) 3자유도 액츄에이터

요약

본 고안은 3 자유도 액츄에이터에 관한 것으로 특히 로봇 시스템의 소형화, 경량화, 단순화에 기여 하면서 다양한 산업 및 의용공학 분야에 활용될 수 있도록 하는 한편 다자유도 시스템 설계에서 부품수나 밀집도를 줄이면서 성능 개선과 신뢰도를 만족 시킬 수 있게 하는 것이다.

본 고안의 3 자유도 액츄에이터는, 고정자와 회전자로 구분되어 상호간에 인력 또는 척력이 작용 하도록 윗부분이 영구자석(25)을 가지는 회전자(20), 아랫부분이 전자석(27)을 가지는 고정자(21)로 이루어지며, 회전자(20)의 중축 아래 방향으로서는 차례대로 중심 집중형으로 임의의 대칭 배열 구도를 유지 하여 회전자의 회전 중심에 토크를 형성하는 고정자(21)가 되는 전자석(27) 및 이를 지탱하기 위한 서포터(26)가 있으며, 회전자(20) 그리고 전자석(27)으로 이루어지는 고정자(21) 및 그 서포터(26)들을 종축방향으로 정렬 시켜 기구적 단위로 만드는 형합체를 포함하는 제어기로 이루어지는 것을 특징으로 한다. 이에 따라 기존 3 자유도 액츄에이터의 장점을 유지 하면서도 소형화, 경량화, 단순화가 가능하고, 다자유도 시스템에서 부품 단순화도 가능하며, 위치 및 회전 제어에 대한 신뢰성이 향상된다.

대표도

도7

색인어

자유도, 액츄에이터, 회전자, 고정자, 전자석, 서포터, 제어기

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 종래의 3 자유도 액츄에이터를 나타낸 사시도

도 2는 종래의 또 다른 3 자유도 액츄에이터를 나타낸 사시도

도 3은 도 2의 액츄에이터의 힘 발생 원리 및 이를 구동 하기 위한 코일 감기의 예를 보인 도면

도 4는 본 고안에 따른 3 자유도 액츄에이터의 분해도

도 5는 도 4의 결합 상태도

도 6은 본 고안에 따른 어퍼 케이스 분리 상태에서 회전자 및 고정자간 위치 제어의 구성 예를 보인 도면

도 7은 고정자 전자석 및 회전자간 위치 제어의 모형

도 8은 전자석과 영구자석의 상호 작용 관계도를 보인 것으로 (A)는 평면도 (B)는 화도(Iso view)

도 9는 전자석과 영구자석 간의 또다른 상호작용 관계를 나타낸 것으로 (A)는 평면도 (B)는 화도(Iso

view)

\*도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명\*

20:회전자	21:고정자
22:어퍼케이스	23a, 23b, 23c:엔코더(Encoder)
24:회전자 프레임	25:영구자석
26:서포터	27:전자석
28:페이스:(Face)	29:구획선
30:공간	31:베이스
32:구멍	33:입력단자

고안의 상세한 설명

## 고안의 목적

### 고안이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 고안은 3 자유도 액추에이터에 관한 것으로 특히 로봇 시스템의 소형화, 경량화, 단순화에 기여 하면서 다양한 산업 현장 및 의용 공학 분야에 활용될 수 있도록 하는 한편 다자유도 시스템 설계에서 부품 수나 밀집도를 줄이면서 성능 개선과 신뢰도를 만족 시킬 수 있게 하는 것이다.

3 자유도 액추에이터는 로봇 시스템 등에서 로봇의 끝단 3관절, 인간의 힌트(Hip joint), 손목 운동, 안구 운동, 레이저 가공기 등의 운동과 유사한 운동을 한다. 이 기구는 자동화 시스템이 있는 산업 현장에서 뿐만 아니라 의용공학 분야 에서도 광범위 하게 활용된다.

3 자유도 액추에이터에 대한 기존의 방식들은 DC 서보 모터 또는 VR(브이.알) 모터의 특성을 갖는 액추에이터로 분류할 수 있다.

DC(Direct current)서보 모터는 DC 사이리스터 가변모터(DC thyristor variable motor)로도 불리워 지며, 직류 모터를 사이리스터로 무단계로 속도를 제어할 수 있고, 또한 정도가 높으며 소형이기 때문에 1980년대 초기 메커트로 기기의 주축 구동의 핵심 이었다. 자장을 평면 형태로 만들어 평면형태의 가동부(아마튜어)가 평면의 고정부(스테이터) 위에 만들어지는 자장의 변화에 따라서 평면 위를 직선적으로 움직이는 VR 모터는 에너지 손실이 적은 특성을 갖고 있었다.

도 1은 VR 모터의 특성을 갖는 대표적인 3 자유도 액추에이터를 나타낸 것이다. 이 모델은 크게 네 부분으로 나눌 수 있으며, 주요 부분은 회전자(1), 고정자(2), 베어링 시스템, 계측기구로 구분된다. 회전자(1)는 구 형태로 되어 있으며, 이곳에는 다섯 개의 철심(3)이 박혀 있고 정팔면체의 여섯 개의 꼭지점중 컷부분을 제외한 나머지 부분에 위치해 있다. 고정자(2)는 속이 빈 쉘 모양의 구 형태이고 여러 개의 전자석(4)과 그리고 회전자(1)를 지지하는 베어링(5)이 장착 되어 있다.

고정자(2)의 코어 들은 고정자 쉘 내의 자기 절연층으로 연결 되어 있고 공극을 통하여 자기 회로를 형성한다. 베어링 시스템은 액추에이터의 각종 회전부위의 회전을 원활히 하기 위해 사용되며, 엔코더(6a~6c)는 회전자(1)의 각축에 대한 회전각을 측정하기 위해 회전자(1)의 출력 축에 연결되며 이는 회전이 가능한 두 개의 엔코더 암(7) 들에 의해 지지 된다.

엔코더 암(7)은 고정자 좌표계의 x축과 y축에 대해 자유롭게 회전할 수 있고 직교한다. 세 번째 엔코더(6a)는 출력축의 회전을 측정한다. 이 액추에이터의 회전자(1)는 공극 내의 축적된 에너지가 최소화 되는 방향으로 움직인다. 즉 고정자(2) 내의 전자석(4)이 개별적으로 입력을 받아 자기장이 발생하게 되고 공극 내에 자기 에너지가 쌓인다. 이때 발생된 에너지는 회전자(1)와 고정자(2)의 상대 위치의 함수 이다. 이러한 형태의 액추에이터는 작업 영역이 넓고 에너지 손실이 적으며 스톱퍼(Stopper) 역할이 가능 하지만 제작이 어렵고 임의의 위치로의 이동이 어렵다.

도 2는 DC 서보 모터의 특성을 갖는 대표적인 3 자유도 액추에이터를 나타낸 것이다. 도 1의 경우와 마찬가지로 이 모델도 주요 부분은 크게 네 부분으로 나누어 지며, 회전자(10), 고정자(12), 베어링 시스템, 계측기구로 구분된다.

도 2에서 요크(11) 부분이 회전자(10) 로서 네 개의 영구자석(13)이 각 방향에 대칭각을 이루면서 부착 되어 있고 아랫부분에는 회전을 측정하기 위한 계측 메커니즘으로 엔코더(14)가 부착 되어 있다. 또한 고정자(12)의 X축과 Y축에 대한 회전각을 측정하기 위해 각 축에 대해 엔코더(14a, 14b)가 부착 되어 있으며, 회전자(10)의 회전을 돕기 위해 각 축의 회전부 적소에 베어링(15)이 사용되고 있다.

도 3은 도 2에서 고정자(12) 부에 감기는 코일의 감는 방향과 토크 발생의 원리에 대해서 나타내고 있다. 즉 굵은 선이 코일을 나타내고 있고 코일 내에 표시한 화살표는 전류의 방향을 나타낸다. 즉 코일은 세 가지 전류( $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$ )가 독립적으로 흐를 수 있도록 세 부분으로 되어 있다. 그림에서 B는 자기장의 방향을 나타내는데 이것은 회전자(10)에 부착된 영구자석(13)에 의해서 발생하게 된다. 회전자(10)는 이러한 자기장과 코일에 흐르는 세가지 전류에 의해 플레밍의 왼손 법칙에 의해 힘이 발생하게 된다. 즉 세 전류를 조절함으로써 회전자(10)를 임의의 방향으로 힘을 발생 시킨다.

DC 서보 모터의 특성을 갖는 이러한 3 자유도 액추에이터는 회전이 원활하고 구조가 간단한 반면 코일 감기가 복잡하고 작업 범위가 비교적 좁다.

이와 같이 VR 모터 및 DC 서보 모터의 특성을 갖는 3 자유도 액츄에이터는 나름대로 장단점 갖는다.

구체적으로는 도 1과 같이 VR 모터 특성을 갖는 액츄에이터는 회전자(1)의 위치를 정밀하게 이동시키기 위해서는 회전자(1)와 고정자(2)의 극의 수를 더 늘려야만 가능하다. 또한 회전자(1)에서 얻을 수 있는 위치 정보가 3 자유도에 그친 반면 제어해야 할 입력수는 고정자(2)의 극의 수이므로 실시간으로 제어하기 위해서는 반드시 최적화 과정을 거친 록업(Lock Up) 테이블의 사용을 필요로 한다. 그리고 회전자(1)를 지지하고 있는 베어링 시스템이 회전자(1)와 완전히 밀착되지 않는다면 회전시 소음이 발생하고 고속회전이 어렵다.

도 2와 같은 DC 서보 모터 특성을 갖는 액츄에이터는 코일 감기가 복잡하고 구조적으로 작업 가능 영역이 비교적 좁게 나타난다. 또한 임의의 위치에서 정지할 수 있는 스톱퍼 기능을 구현하기 어렵다. 즉 구조적으로 회전자(10)의 지속적인 회전이 있어야만 임의의 각으로 기울이는 것이 가능하다.

그리고 다른 기구적인 유도장치 등을 유기적으로 연계시키는 다자유도 시스템에서는 여러 개의 기어와 링크 등을 복잡하게 연결하여 의도하는 다자유도 시스템을 만들게 된다. 특히 다자유도 시스템의 작동 환경이나 활동 범위 그리고 유도제어의 정도가 더 정교해 지고 신뢰성을 필요로 할 경우 기어나 링크의 연결 계통의 밀집도와 그 수도 함께 늘어난다. 결과적으로 시스템 부피의 증가와 복잡한 기구들의 사용으로 신뢰성 저하나 기구적 결함의 원인이 되었다.

따라서 제시된 기술들은 방식에 관계없이 3 자유도 액츄에이터의 원래 기능을 완전히 구현 한다고 볼 수 없다.

### 고안이 이루고자하는 기술적 과제

따라서 본 고안의 목적은 작업 영역이 넓고, 스톱퍼 역할이 가능하며 또한 고속 회전과 임의의 위치 제어가 가능한 3 자유도 액츄에이터를 제공 하는 것이다.

본 고안의 다른 목적은 보통의 3 자유도 액츄에이터가 갖는 장점을 대부분 유지 하면서도 단점은 보완할 수 있는 새로운 3 자유도 액츄에이터를 제공 하기 위하여 3 자유도 액츄에이터를 제어 하기 위한 제어기의 모델을 선정하고 이를 3 자유도 액츄에이터에 적용 시키는 것이다.

이러한 본 고안의 목적을 달성하기 위한 3 자유도 액츄에이터는, 고정자와 회전자로 구분되어 상호간에 인력 또는 척력이 작용 하도록 윗부분이 영구자석을 가지는 회전자, 아랫부분이 전자석을 가지는 고정자로 이루어지며,

상기 회전자의 종축 아래 방향으로는 차례대로 중심 집중형으로 임의의 대칭 배열 구도를 유지 하여 회전자의 회전 중심에 토크를 형성하는 고정자가 되는 전자석 및 이를 지탱하기 위한 전자석 서포터가 있으며, 상기 회전자 그리고 전자석으로 이루어지는 고정자 및 그 서포터들을 종축방향으로 정렬 시켜 기구적 단위로 만드는 형합체를 포함하는 제어기로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

선택적으로, 상기 회전자는 회전자 프레임이 있으며, 이 프레임의 수평 내지 수직 방향으로 두 개 혹은 네 개로 영구자석이 배열 되고, 프레임의 기준위치가 수평 방향 일 때 y축에 대한 회전과 z축에 대한 회전을 측정하기 위한 엔코더를 부착 시킨 것을 특징으로 한다.

선택적으로, 전자석 서포터는 개개의 전자석을 구분시켜 인도하는 경계선을 가지면서 서로 이웃하는 경계선들에 의해 등분되어 하나의 지정된 전자석 안내 유효 영역을 만들며, 그 형태는 아래 방향으로 기울어진 폐이스로 형성되어 이 폐이스에 의해 전자석을 하방 지향 기울기로 랜딩 시키며, 아랫 부분은 베이스에 지지되는 지지프레임을 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

선택적으로, 형합체는 회전자 프레임에 얹혀져 있는 엔코더를 밖으로 유도하는 구멍이 뚫려 있고, z축 회전을 측정하기 위해 구멍의 주변부에 엔코더를 부착시킨 어퍼케이스와, 전자석 서포터의 일부분을 안 내하여 상기 어퍼케이스와 조합 되는 베이스로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

### 고안의 구성 및 작용

이렇게 일정한 공간상에서 회전자와 고정자를 배열하고 회전자의 구동에 적합한 제어기를 구성하면 작업 영역은 넓고, 회전자 스톱퍼 역할도 가능하며 또한 고속 회전과 임의의 위치 제어가 가능한 3 자유도 액츄에이터를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 다자유도 시스템에서 구성을 단순화 시킬 수 있는 결과를 얻을 수 있다.

이하, 본 고안의 실시예에 따른 회전자 구동 메커니즘과 구동 원리를 도면을 참고로 설명하면 다음과 같다.

도 4는 3 자유도 액츄에이터의 분해도 이고, 도 5는 3 자유도 액츄에이터의 결함 상태 이고, 도 6은 케이스 분리 상태에서 회전자 및 고정자간 위치 제어의 구성 예이며, 도 7는 고정자 전자석 및 회전자간 위치 제어의 모형이고, 도 8의 (A)(B)는 각각 전자석과 영구자석의 상호 작용 관계도 이며, 도 9의 (A)(B)는 각각 전자석과 영구자석 간의 또다른 상호작용 관계를 나타낸 것이다.

도 4 내지 도 7은 회전자와 고정자 그리고 제어기를 일관된 형태로 나타냈다.

도 4 및 도 7 에서 윗부분의 어퍼케이스(22)에는 회전자(20)를 지지하며 z축 회전을 측정하기 위한 엔코더(23a)를 둘러진 구멍(32)의 밖 주변부에 부착 시켜 놓았다. 회전자(20)는 사각 를 형태의 프레임(24)으로 구체화 되며, 이 프레임(24)에 두 개 또는 네 개의 영구자석(25)이 부착된다. 영구자석(25)의 부착 형태는 각각 수평 수직 방향 이며, 특히 수직방향은 밑으로 내려간 위치로 정해졌으며, 회전자 프레임(24)에는 y축에 대한 회전 및 z축에 대한 회전을 측정하기 위한 엔코더(23b)(23c)가 부가적으로 각각 설치 되어 있다. 회전자 프레임(24)은 고정자(21)측 전자석 서포터(26)와 공조하여 제어기의 한 부분을 만든다.

영구자석(25)이 지지되어 있는 회전자 프레임(24)은 전자석(27) 위에 놓여져 존재하며, 전자석(27)과 상호 작용에 의해 회전과 위치가 규제되기 때문에 따로 분리하여 회전자(20)를 제어하는 것으로 보기는 어렵다. 따라서 회전자 프레임(24)이 사각형 이고, 영구자석(25)을 수평 방향으로 한 군데씩 두 개, 밑으로 각각 대칭각으로 한 군데씩 두 개를 배열 하였을 때, 전자석(27)의 적절한 배열은 정오각형의 배열 구도로 결정 되었다.

전자석(27)은 서포터(26)에 의해 지지 된다. 이 서포터(26)는 개개의 전자석(27)을 면상의 페이스(28)로 인도하여 랜딩 시키며, 페이스(28)는 주름진 경계선과 같은 구획선(29)에 의해 각각의 영역을 만들며, 이들이 모이는 가운데는 정오각형의 공간(30)으로 뿔려 있다. 전자석 서포터(26)의 페이스(28)는 전자석(27)의 개수에 따라 그 수가 정해지며, 아래로 비스듬이 경사져 있어 중앙이 높고 주변부가 내려간 갓 모양의 형태를 가진다. 그리고 전자석(27)의 개수나 자계 조건에 따라 경사도 및 페이스(28)의 숫자도 변동 시킨다.

전자석(27)이 서포터(26)의 페이스(28)에 랜딩된 상태의 유니트를 완성된 고정자(21)로 볼 수 있다. 그리고 회전자(20)와 고정자(21)는 적절한 형합체에 의해 조합된다.

이상적으로는 회전자 프레임(24)에 얹혀져 있는 엔코더(23b)(23c)를 밖으로 유도하는 구멍(32)이 뿔려 있고, z축 회전을 측정하기 위해 구멍(32)의 주변부에 엔코더(23a)를 부착시킨 것과 같은 공간이 있는 어퍼케이스(22), 전자석 서포터(26)의 밑부분을 안내하여 어퍼케이스(22)와 조합 되는 플레이트형 베이스(31)와 같은 형태이다.

이같은 회전자(20) 그리고 고정자(21)의 배열로 부터 3 자유도 액츄에이터에 필요한 고속 회전과 위치 제어 그리고 단순화된 다자유도 시스템의 구성이 가능하다.

본 고안은 고정자(21)와 회전자(20)로 구성된 메커니즘으로서 회전자(20)가 3 자유도를 갖는 액츄에이터이다. 고정자(21)에는 다수의 전자석(27)이 일정하게 배열되어 있고 회전자(20)에는 다수의 영구자석(25)이 배열되어 있다.

회전자(20)를 움직이게 되는 원리는 회전자(20)에 부착되어 있는 영구자석(25)과 고정자(21)에 부착되어 있는 전자석(11) 간의 상호작용에 의한다.

즉 회전자(20)와 고정자(21) 서로간에 인력 또는 척력이 작용하여 결국 회전자(20)의 회전 중심에 토크가 발생하게 된다.

이때 전자석(27)의 입력 전류를 조절함으로써 전자석(27)에서 발생하는 자기장의 세기를 조절하게 된다. 결국 이러한 상호 작용을 조절함으로써 회전자(20)의 회전 중심에 원하는 크기와 방향을 갖는 토크를 발생 시킬 수 있다.

도 7과 같이 같이 회전자(20)가 돌면 윗부분의 어퍼케이스(22)는 회전자(20)를 지지하며 z축 회전을 엔코더(23a)를 통해 측정한다.

회전자(20)는 사각 프레임(24)과 같은 틀로 이루어지며, 이 프레임(24)에 두 개 또는 네 개의 영구자석(25)이 부착된 형태로서 아래쪽에 있는 전자석(27)을 통한 입력 전류에 의해 자기장의 세기에 따라 회전 중심에 원하는 크기와 방향을 갖는 토크를 얻게 된다.

회전자 프레임(24)에는 y축에 대한 회전 그리고 z축에 대한 회전을 측정하기 위한 엔코더(23b)(23c)가 설치 되어 회전자(20)의 회전 측정이 가능하다.

영구자석(25)이 지지되어 있는 회전자 프레임(24)은 전자석(27) 위에 놓여져 존재하며, 전자석(27)과 상호 작용에 의해 회전과 위치가 규제되기 때문에 전자석(27)에 대한 입력 전압을 통해 회전자(20)를 직접 제어한다.

전자석(27)은 서포터(26)에 의해 지지 된다. 이 서포터(26)는 개개의 전자석(27)을 면상의 페이스(28)로 인도하여 랜딩 시킨다. 페이스(28)는 주름진 경계선과 같은 구획선(29)에 의해 각각의 전자석(27) 랜딩 영역을 만들며, 이들이 모이는 가운데는 정오각형의 공간(30)으로 뿔려 있어 회전자(20)의 토크 및 방향의 중심이 된다.

전자석 서포터(26)의 페이스(28)는 전자석(27)의 개수에 따라 그 수가 정해지며, 아래로 비스듬이 경사져 있어 중앙이 높고 주변부가 내려간 갓 모양의 형태를 가진다. 그리고 전자석(27)의 개수나 자계 조건에 따라 경사도 및 페이스(28)의 숫자도 변동된다.

전자석(27)이 서포터(26)의 페이스(28)에 랜딩된 상태의 유니트를 고정자(21)로 볼 수 있다. 그리고 회전자(20)와 고정자(21)는 회전자 프레임(24)에 얹혀져 있는 엔코더(23b)(23c)를 밖으로 유도하는 구멍(32) 그리고 z축 회전을 측정하기 위해 구멍(32)의 주변부에 엔코더(23a)를 부착시킨 어퍼케이스(22)와 전자석 서포터(26)의 밑부분을 안내하여 어퍼케이스(22)와 조합 되는 플레이트형 베이스(31)와 같은 형합체로 공간을 만들어 전자석과 영구자석의 상호작용을 이용하여 임의의 3 자유도 운동을 일으킨다.

즉 다수의 전자석(27)을 마련하여 다중극을 갖는 고정자(21)와 다수의 영구자석(25)을 마련 하여 다중극을 갖는 회전자(20)를 구성하여 전자석의 입력 전류를 제어 함으로써 전자석의 세기를 조절하고, 그 조절로 부터 전자석(27)과 영구자석(25)의 상호 작용을 유도하여 임의의 3 자유도 운동을 얻는다.

여기서 고정자(21)측 각 전자석(27)으로 흐르는 입력 전류를 조절하면, 회전자(20)에 원하는 크기와 방향을 갖는 토크를 발생 시킬 수 있는데 이를 구체적으로 풀면 아래와 같다.

예를들면, 두 점자극의 세기를 각각  $m_1$ ,  $m_2$ , 극간 거리를, 상호간에 작용하는 힘을  $F$ 라 하면,

$$F = k \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

의 관계가 있으며, 방향은 양극을 연결하는 직선 위에 있다. 이것은 자기에 관한 쿨롱의 법칙으로 설명된다. MKS 단위계에서는 자유공간 중에서 같은 세기의 두 점자극을 1m 거리에 놓았을 때 작용하는 힘이  $6.33 \times 10^4$  N이 되는 것을 단위로 하여 1 웨버(weber)라 한다. 따라서 이 단위계에 의하면  $k = 6.33 \times 10^4$  이 된다.  $m_1$ ,  $m_2$ 는 [Wb],  $r$ 은 [m] 단위이다.

도 8은 회전자(20)를 구성하고 있는 두 개의 영구자석(N1, N2)을 나타내고 있으며 P0는 회전 중심, P1~P5는 전자석(27)의 위치를 나타낸다. 그림과 같이 영구자석(25) 각 극의 가까운 두 점으로 부터 영향을 받는다. 즉, 영구자석(25)의 N1극은 P1, P2의 전자석에 의해, 영구자석(25)의 N2극은 P3, P4의 전자석(27)에 의해 각각 영향을 받는다. 물론 모든 전자석(27)이 각 극에 영향을 미치지만 극 주위의 두 점에 비해 다른 점들에서 미치는 영향은 작다고 가정한다.

도 8 및 도 9와 같은 경우에 전자석(27)과 영구자석(25)에 의해 회전 중심 P0에서 발생하는 토크는 다음과 같다.

$$\vec{M}_0 = \sum_{i=1}^2 \vec{r}_{N1} \times \vec{F}_i + \sum_{i=3}^4 \vec{r}_{N2} \times \vec{F}_i \quad (1)$$

여기서  $\vec{r}_{N1}$ ,  $\vec{r}_{N2}$ 는 각각 N1, N2극의 위치벡터를 나타내고,  $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ 는 N1극과 P1, P2 간에 작용하는 힘을,  $\vec{F}_3, \vec{F}_4$ 는 N2극과 P3, P4 간에 작용하는 힘을 각각 나타낸다.

이같은 3 자유도 액추에이터를 제어하기 위해 본 고안에서는 피.디(PD) 제어를 이용 하였다.

회전자의 위치를 나타내기 위해 x-y-z Euler 각을 이용 하였다. 즉 회전자에 설정한 극부 좌표계를 기준으로 x,y,z축에 대한 회전각으로 나타낸다.

목표값을  $\bar{\theta}_d$  라 하고, 실제값을  $\bar{\theta}$  라 하면, 피.디(PD)제어를 이용한 경우의 제어입력은 다음과 같다.

$$\bar{u} = -\underline{K}_p(\bar{q}_a - \bar{q}_d) - \underline{K}_d(\dot{\bar{q}}_a - \dot{\bar{q}}_d) \quad (2)$$

이 경우 제어입력을 회전자의 회전중심에 작용하는 토크로 적용 시키면

$$\vec{M}_0 = \bar{u}$$

식 (2)에 의해 회전중심 P0에서 작용하는 토크는 영구자석 N1에 작용하여 발생하는 토크( $\vec{M}_{01}$ )와 N2에 작용하여 발생하는 토크( $\vec{M}_{02}$ )의 합임을 알 수 있다. 이때  $\vec{M}_{01}$ 와  $\vec{M}_{02}$ 의 비는 임의로 정해줄 수 있고 본 고안에서는 영구자석의 끝단과 영구자석에 영향을 주는 두 점과의 거리를 이용하여 그 비를 정한다. 즉 영구자석과 두 점간의 거리가 가까울 경우에는 그렇지 못한 경우보다 더 큰 토크를 발생 시키도록 한다. 이렇게 그 비를 정한 이유는 ZETA 영구자석과 전자석과의 거리가 가까운 부분에서 더 큰 토크를 감당함으로써 에너지 효율을 좀더 높일 수 있기 때문이다.

$\vec{M}_{01}$ 와  $\vec{M}_{02}$ 의 비는 다음과 같이 정한다.

$$\vec{M}_0 = \vec{M}_{01} + \vec{M}_{02} = a\vec{M}_{01} + b\vec{M}_{02}$$

여기서

$$a + b = 1$$

이다. 그리고

$$a:b = \frac{1}{\vec{r}_1 + \vec{r}_2} : \frac{1}{\vec{r}_3 + \vec{r}_4}$$

이식을 풀면

$$a = \frac{\vec{r}_3 + \vec{r}_4}{\vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3 + \vec{r}_4}$$

$$b = 1 - a$$

이제 제어입력  $\vec{M}_0$  와  $a$ ,  $b$ 가 주어지면 다음과 같이 전자석의 입력을 정한다.

식(2)에서 쓰인  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$  를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\vec{F}_1 &= \frac{m_N m_1}{4\pi\mu_0 |\vec{r}_1|^2 |\vec{r}_1|} = \frac{m_N m_1}{4\pi\mu_0 |\vec{r}_1|^3} \vec{r}_1 \\ &= \frac{m_N}{4\pi\mu_0 |\vec{r}_1|^3} \vec{r}_1 \mu_0 \mu_s \frac{N}{d} I_1 \\ &= \frac{m_N \mu_s N}{4\pi d |\vec{r}_1|^3} \vec{r}_1 I_1 \\ &= C \frac{\vec{r}_1}{|\vec{r}_1|^3} I_1 = \vec{C}_{r1} I_1\end{aligned}$$

(3)

여기서

$m_N$  : 영구자석 N1극의 세기(Wb)

$m_1$  : 전자석 1의 극의 세기(Wb)

$\vec{r}_1$  : 전자석 1에서 영구자석 N1극으로의 벡터

$\mu_0$  : 진공의 투자율(permeability)

$\mu_s$  : 비투자율

$N/d$  : 단위 길이당 코일의 감긴수

$I_1$  : 전자석 1의 입력전류

회전자의 위치가 주어지면  $\vec{r}_1$  을 알 수 있으므로 식(9)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\vec{F}_1 = (C_{r1x} \vec{i} + C_{r1y} \vec{j} + C_{r1z} \vec{k}) I_1$$

여기서

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  : 전역좌표계(global coordinate)의  $x, y, z$  방향 각각의 단위 벡터  
 $C_{r1x}, C_{r1y}, C_{r1z}$  :  $\vec{C}_{r1}$  :  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  : 의 각각의 성분

$\vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$  에 대해서도 위와 같이 적용하여 나타내면 다음과 같다.

$$\vec{F}_2 = (C_{r2x} \vec{i} + C_{r2y} \vec{j} + C_{r2z} \vec{k}) I_2$$

$$\vec{F}_3 = (C_{r3x} \vec{i} + C_{r3y} \vec{j} + C_{r3z} \vec{k}) I_3$$

$$\vec{F}_4 = (C_{r4x} \vec{i} + C_{r4y} \vec{j} + C_{r4z} \vec{k}) I_4$$

$\vec{M}_{01}, \vec{M}_{02}$  를  $\vec{r}_{N1}, \vec{r}_{N2}$  와  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$  여이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$\vec{M}_{01} = \vec{r}_{N1} \times \vec{F}_1 + \vec{r}_{N1} \times \vec{F}_2 = \vec{r}_{N1} \times (\vec{F}_1 + \vec{F}_2)$$

$$\vec{M}_{02} = \vec{r}_{N2} \times (\vec{F}_3 + \vec{F}_4)$$

위의 두 식을 합쳐 행렬 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} M_{01x} \\ M_{01y} \\ M_{01z} \\ M_{02x} \\ M_{02y} \\ M_{02z} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -r_{N1z} & r_{N1y} & 0 & 0 & 0 \\ r_{N1z} & 0 & -r_{N1x} & 0 & 0 & 0 \\ -r_{N1y} & r_{N1x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -r_{N2z} & r_{N2y} \\ 0 & 0 & 0 & r_{N2z} & 0 & -r_{N2x} \\ 0 & 0 & 0 & -r_{N2y} & r_{N2x} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{r1x} & C_{r2x} & 0 & 0 \\ C_{r1y} & C_{r2y} & 0 & 0 \\ C_{r1z} & C_{r2z} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{r3x} & C_{r4x} \\ 0 & 0 & C_{r3y} & C_{r4y} \\ 0 & 0 & C_{r3z} & C_{r4z} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

좌변 행렬을 M, 우편의 첫 번째 행렬을 R, 두 번째 행렬을 C, 세 번째 행렬을 I 하 하면

$$\mathbf{M}_{6 \times 1} = \mathbf{R}_{6 \times 6} \mathbf{C}_{6 \times 4} \mathbf{I}_{4 \times 1} \quad (5)$$

$\mathbf{R}_{6 \times 6} \mathbf{C}_{6 \times 4}$  를  $\mathbf{A}_{6 \times 4}$  로 대체하여 다시 쓰면

$$\mathbf{M}_{6 \times 1} = \mathbf{A}_{6 \times 4} \mathbf{I}_{4 \times 1} \quad (6)$$

$(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1}$  가 존재하면 I는 다음과 같다.

$$\mathbf{I} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{M} \quad (7)$$

도 8과 같이 회전자가 기울어져서 하나의 전자석(P5)이 두 개의 영구자석에 모두 작용할 경우가 발생할 수 있다. 이와 같은 경우에는 식(7)을 변형 시켜서 행렬 I를 구한다.

우선 식(7)을 다음과 같이 바꾼다.

$$\begin{Bmatrix} M_{01x} \\ M_{01y} \\ M_{01z} \\ M_{02x} \\ M_{02y} \\ M_{02z} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -r_{N1z} & r_{N1y} & 0 & 0 & 0 \\ r_{N1z} & 0 & -r_{N1x} & 0 & 0 & 0 \\ -r_{N1y} & r_{N1x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -r_{N2z} & r_{N2y} \\ 0 & 0 & 0 & r_{N2z} & 0 & -r_{N2x} \\ 0 & 0 & 0 & -r_{N2y} & r_{N2x} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{r1x} & C_{r2x} & 0 \\ C_{r1y} & C_{r2y} & 0 \\ C_{r1z} & C_{r2z} & 0 \\ C_{r4x} & 0 & C_{r3x} \\ C_{r4y} & 0 & C_{r3y} \\ C_{r4z} & 0 & C_{r3z} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{Bmatrix}$$

이때 전자석 P5로의 입력전류가  $I_1$ 이고 전자석 P1으로의 입력전류가  $I_2$ , P4로의 입력전류가  $I_3$ 에 해당한다. 이와 같이 하면 전자석이 겹치는 경우에도 식(5)~식(7)을 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\mathbf{M}_{6 \times 1} = \mathbf{R}_{6 \times 6} \mathbf{C}_{6 \times 3} \mathbf{I}_{3 \times 1} \quad (8)$$

$\mathbf{R}_{6 \times 6} \mathbf{C}_{6 \times 3}$  를  $\mathbf{A}_{6 \times 3}$  로 대체하여 다시쓰면

$$\mathbf{M}_{6 \times 1} = \mathbf{A}_{6 \times 3} \mathbf{I}_{3 \times 1} \quad (9)$$

$(A^T A)^{-1}$  가 존재하면 I는 식(7)과 마찬가지로 다음과 같다.

$$I = (A^T A)^{-1} A^T M \quad (10)$$

이와 같이 본 고안은 다수의 전자석(27)을 배열한다중극을 갖는 고정자(21), 다수의 영구자석(25)을 배열하여 다중극을 갖는 회전자(20)를 구성하고 각 전자석(27)의 입력 전류를 제어 함으로써 전자석(27)의 세기를 조절하고, 그 조절로 부터 전자석(27)과 영구자석(25)의 상호 작용을 유도하여 임의의 3 자유도 운동을 얻을 수 있다. 특히 고정자(21)측 각 전자석(27)으로 흐르는 입력 전류를 조절하면, 회전자(20)의 회전 중심에 원하는 크기와 방향을 갖는 토크를 간단히 얻을 수 있다.

또한 다자유도 시스템에서 하나의 조인트를 사용하여 3 자유도 모터의 연결이 가능한 특성을 나타낸다.

#### 고안의 효과

본 고안은 3 자유도 액추에이터에 응용 되었던 DC서보모터 방식이나 VR모터방식의 장점을 유지 하면서도 이들을 대체하여 기존 로봇 시스템의 소형화, 경량화, 단순화가 가능하다. 뿐만아니라 이같은 3 자유도 모터의 적용은 여러 개의 기어와 링크 등으로 연결하여 다자유도 시스템을 설계하던 기존의 방식들에 비해 하나의 조인트 사용으로 전체 다자유도 시스템을 단순화 시킬 수 있는 효과를 갖는다. 또한 일반적인 3 자유도 시스템, 로봇의 끝단 3관절, 인간의 힘 조인트, 손목 운동, 안구 운동, 레이저 가공기 등의 운동과 유사한 운동을 가질 수 있으므로 산업현장이나 의용공학 분야에서 광범위 하게 활용될 수 있다.

#### (57) 청구의 범위

##### 청구항 1

고정자와 회전자로 구분되어 상호간에 인력 또는 척력이 작용 하도록 윗부분이 영구자석을 가지는 회전자, 아랫부분이 전자석을 가지는 고정자로 이루어지며,

상기 회전자의 중축 아래 방향으로는 차례대로 중심 집중형으로 임의의 대칭 배열 구도를 유지 하여 회전자의 회전 중심에 토크를 형성하는 고정자가 되는 전자석 및 이를 지탱하기 위한 전자석 서포터가 있으며,

상기 회전자 그리고 전자석으로 이루어지는 고정자 및 그 서포터들을 중축방향으로 정렬 시켜 기구적 단위로 만드는 형합체를 포함하는 제어기로 이루어지는 것을 특징으로 하는 3 자유도 액추에이터.

##### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 회전자는 회전자 프레임이 있으며, 이 프레임의 수평 내지 수직 방향으로 두 개 혹은 네 개로 영구자석이 배열 되고, 프레임의 기준위치가 수평 방향 일 때 y축에 대한 회전과 z축에 대한 회전을 측정하기 위한 엔코더를 부착 시킨 것을 특징으로 하는 3 자유도 액추에이터.

##### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

전자석 서포터는 개개의 전자석을 구분시켜 인도하는 경계선을 가지면서 서로 이웃하는 경계선들에 의해 등분되어 하나의 지정된 전자석 안내 유효 영역을 만들며, 그 형태는 아래 방향으로 기울어진 페이스로 형성되어 이 페이스에 의해 전자석을 하방 지향 기울기로 랜딩 시키며, 아랫 부분은 베이스에 지지되는 지지프레임을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 3 자유도 액추에이터.

##### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

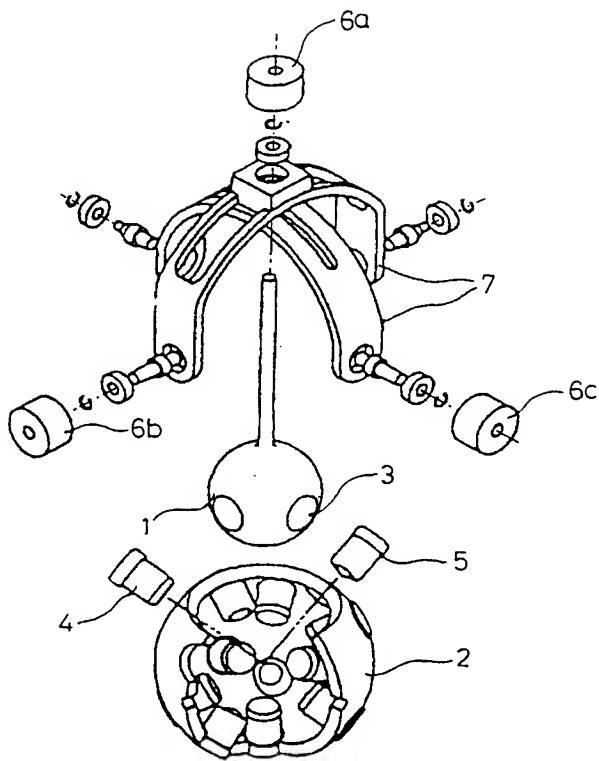
형합체는 회전자 프레임에 얹혀져 있는 엔코더를 밖으로 유도하는 구멍이 뚫려 있고, z축 회전을 측정하기 위해 구멍의 주변부에 엔코더를 부착시킨 어퍼케이스와,

전자석 서포터의 일부분을 안내하여 상기 어퍼케이스와 조합 되는 베이스로 이루어지는 것을 특징으로 하는 3 자유도 액추에이터.

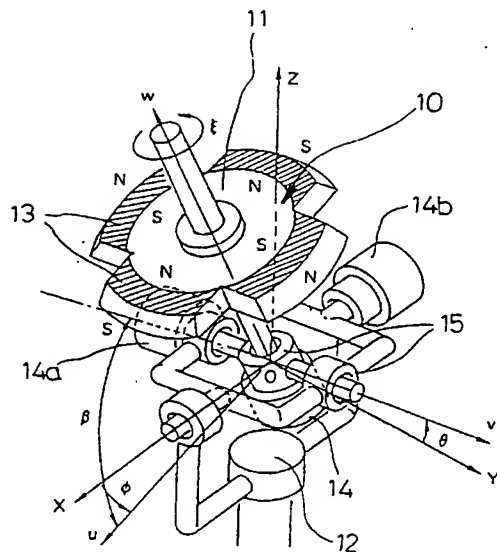
도면



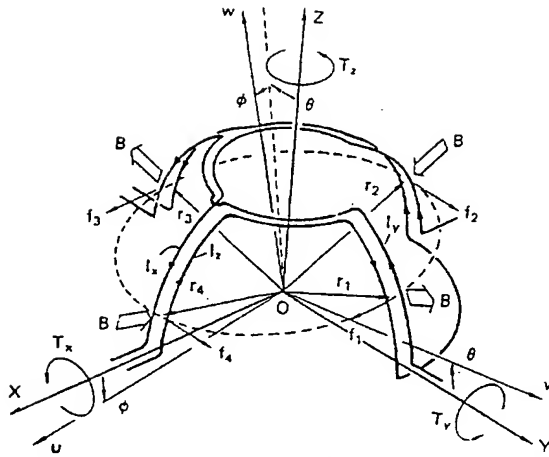
도면1



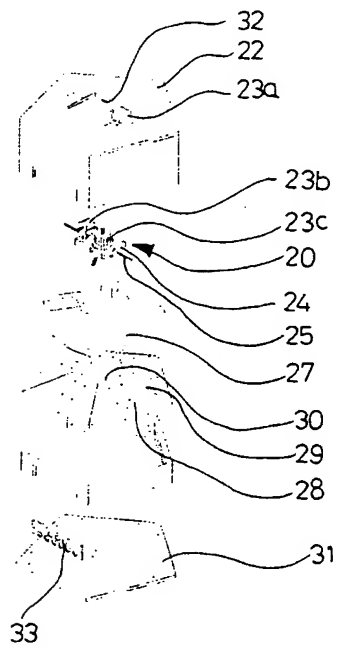
도면2



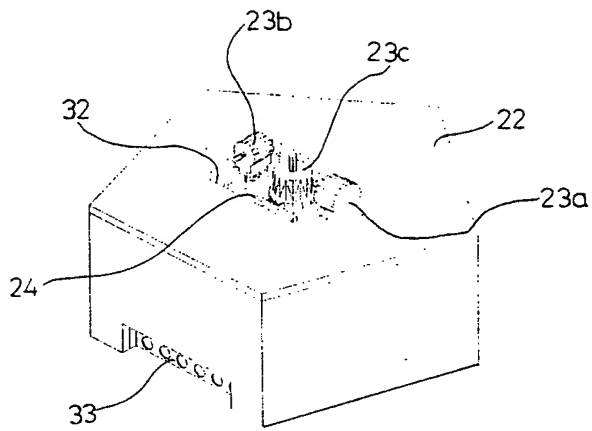
도면3



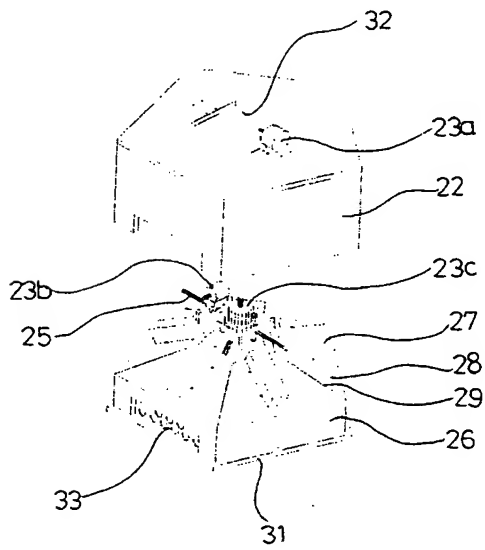
도면4



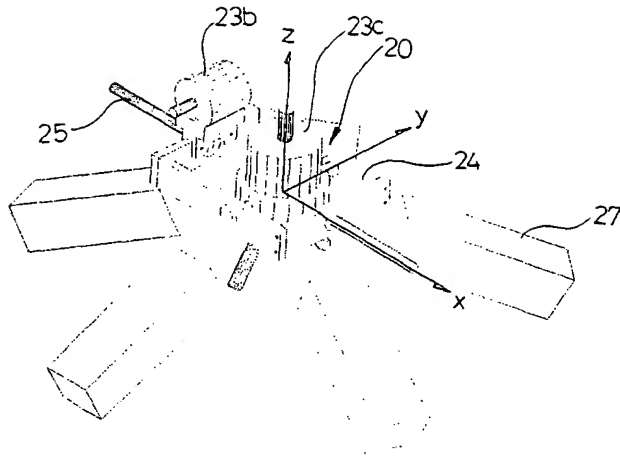
도면5



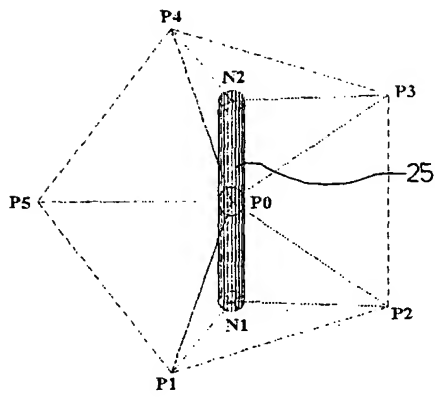
도면6



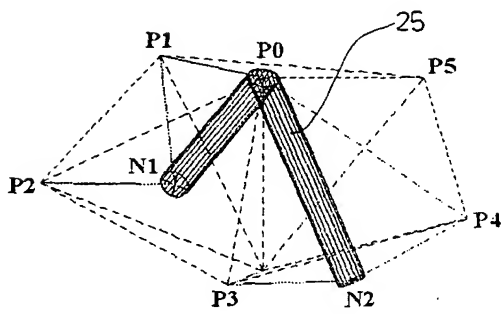
도면7



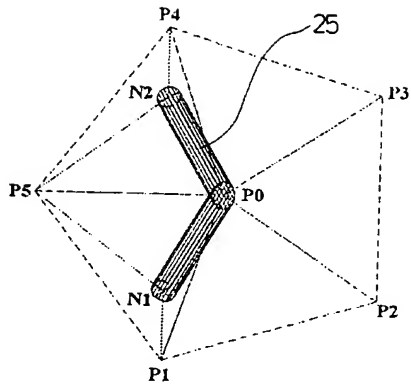
도면8a



도면8b



도면9a



도면9b

